

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-279391  
(P2001-279391A)

(43)公開日 平成13年10月10日(2001.10.10)

| (51)Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号  | F I           | テ-マ-ト*(参考) |
|--------------------------|-------|---------------|------------|
| C 2 2 C 38/00            | 3 0 2 | C 2 2 C 38/00 | 3 0 2 Z    |
| 38/38                    |       | 38/38         |            |
| 38/58                    |       | 38/58         |            |

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願2000-93565(P2000-93565)

(22)出願日 平成12年3月30日(2000.3.30)

(71)出願人 000002118  
住友金属工業株式会社  
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号  
(72)発明者 平田 弘征  
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号  
住友金属工業株式会社内  
(72)発明者 小川 和博  
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号  
住友金属工業株式会社内  
(74)代理人 100103481  
弁理士 森 道雄 (外1名)

(54)【発明の名称】 フェライト系耐熱鋼

(57)【要約】

【課題】溶接熱影響部でのクリープ強度低下が小さいフェライト系耐熱鋼を提供する。

【解決手段】本発明のフェライト系耐熱鋼は、C:0.03~0.18%、Si:1%以下、Mn:2%以下、P:0.025%以下、S:0.01%以下、Cr:1~15%、N:0.005~0.08%、Nb:0.002~0.15%、V:0.005~0.5%、Al:0.02%以下、O:0.02%以下を含み、式「 $V+2Nb \geq 0.015Cr$ 」を満たし、かつ、鋼中に含まれる粒径0.5 $\mu$ m以上の炭・窒化物の析出密度が $10^6$ 個/mm<sup>2</sup>以下である。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】質量%で、C:0.03~0.18%、Si:1%以下、Mn:2%以下、P:0.025%以下、S:0.01%以下、Cr:1~15%、N:0.005~0.08%、Nb:0.002~0.15%、V:0.005~0.5%、Al:0.02%以下、O(酸素):0.02%以下を含み、残部は実質的にFeよりなり、かつ下記の(1)式を満たし、さらに、鋼中に含まれる粒径0.5 $\mu$ m以上の炭・窒化物の析出密度が $10^6$ 個/mm<sup>2</sup>以下であるフェライト系耐熱鋼。

$$V+2Nb \geq 0.015Cr \quad \dots (1)$$

ここで、式中の元素記号は鋼中に含まれる各元素の含有量(質量%)を意味する。

【請求項2】Feの一部に代えて、さらに、下記のイへのグループのうちから選ばれた1グループまたは2グループ以上の元素を含む請求項1に記載のフェライト系耐熱鋼。

イ:Mo:0.01~5%または/およびW:0.01~5%、

ロ:Ni:0.01~5%、Cu:0.01~5%およびCo:0.01~5%のうちから選ばれた1種または2種以上、

ハ:B:0.0005~0.01%、

ニ:REM:0.0005~0.01%、

ホ:Ca:0.0005~0.01%または/およびMg:0.0005~0.01%、

ヘ:Zr:0.005~1%、Ti:0.005~1%、Ta:0.005~1%、Hf:0.005~1%およびNd:0.005~1%のうちから選ばれた1種または2種以上を合計で0.005~1%。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、フェライト系耐熱鋼に係わり、高温で使用する際、溶接継手の溶接熱影響部でクリープ強度の低下が小さいフェライト系耐熱鋼に関する。

## 【0002】

【従来の技術】ボイラ、化学装置などの耐熱、耐圧配管に用いられる高温材料としては、2・1/4Cr-1Mo鋼、9Cr-1Mo鋼などのフェライト鋼、18Cr-8Ni鋼に代表されるオーステナイト系ステンレス鋼がよく知られている。

【0003】なかでもフェライト鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼に比べて安価であるばかりでなく、耐応力腐食割れ性に優れ、しかも熱膨張係数が小さいため温度変化に対して歪みが小さいという高温用材料としての利点を有する。

【0004】そのため、近年8~13%のCrを含有するフェライト鋼をベースにMo、W、Nb、V、さらにはCo、Ta、Nd等の含有量を調整して優れた高温強

度を付与した新しいフェライト系耐熱鋼が数多く開発されている(例えば、特開平8-85849号公報等)。

【0005】また、これらのW、Coを添加した新しいフェライト鋼を溶接構造物として使用する場合に必要な溶接材料についても数多く開発されている(例えば、特開平9-122971号公報等)。

【0006】しかし、フェライト系耐熱鋼を溶接構造物として使用する場合には、例えば、「Science and Technology of Welding and Joining, 1996, Vol.1, No.1, p.36~42」に示されているように、溶接継手の溶接熱影響部でクリープ強度が20%以上も低下する、いわゆるHAZ軟化現象が起こることがよく知られている。

【0007】HAZ軟化については、例えば、「溶接学会論文集 第15巻 第4号 p.664~673」に示されているように、溶接熱サイクルにより、AC3変態点近傍に加熱された領域で生じるという報告や、「鉄と鋼 第77年 第4号 p.582~589」に示されているように、AC1変態点直上に加熱された領域で生じるという報告など、研究者によって様々な見解が示されている。

【0008】そして、種々の合金元素を添加することにより、HAZ軟化の防止を図った鋼がいくつか提案されている。例えば、特開平5-43986号公報には、Cuを必須成分として添加した鋼が提案されている。しかし、Cuの添加は、長時間使用後の延性低下を招く。

【0009】また、特開平7-242935号公報や同8-134584号公報には、Ti、Zr、Ta、Hfのうちから選ばれた1種または2種以上を必須成分として添加するとともに、これら元素の炭化物中の含有量を制限した鋼とその製造方法が提案されている。しかし、Ti、Zr、Ta、Hfの添加は、鋼の清浄度を低下させる。また、その製造方法は、特殊な製造方法であるため、製造コストの上昇を招くという欠点を有している。

## 【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、溶接継手の溶接熱影響部でクリープ強度の低下の小さいフェライト系耐熱鋼を提供することにある。

## 【0011】

【課題を解決するための手段】発明者らは、溶接時の熱サイクルによる組織変化にのみ着目して検討を繰り返した結果、以下の新たな知見を得た。

【0012】まず、HAZ軟化現象は、次の機構で生じることが明らかとなった。すなわち、母材の製造時に析出していたCr炭化物を主体とする粗大な炭化物が溶接時の熱サイクルにより一部固溶する。その後の溶接後熱処理およびクリープ初期過程で、粗大な炭化物が固溶した領域から、過飽和となった溶質元素が微細に再析出するため、溶接熱サイクルを受けない母材部やHAZ軟化が生じない部分に比べると炭化物の密度、サイズ分布が不均一となる。その結果、クリープ過程で、炭化物の成長速度が大きくなり、強度低下が生じる。

【0013】そして、上述の事実に基づき、そのHAZ軟化防止方法について詳細に検討した結果、HAZ軟化防止には、(1) 溶接前に存在する粗大な炭化物の量を制限し、溶接時に固溶する粗大な炭化物の量を減らすこと、(2) 溶接前にV、Nbといった微細かつ固溶温度がCr炭化物よりも高い安定な炭・窒化物（炭化物、窒化物、炭窒化物）を析出させることが有効であることが明らかとなった。具体的には、(1) 溶接前の母材鋼中に含まれる粒径（平均粒径）0.5μm以上の炭・窒化物の析出密度を $10^6$  個/mm<sup>2</sup> 以下とすること、(2) Cr炭化物よりも高温で安定なV、NbでC、Nを固定するため、式「 $V+2Nb \geq 0.015Cr$ 」を満たす範囲に成分調整することによりHAZでの強度低下を防止しうることである。

【0014】上記の知見に基づいて完成させた本発明の要旨は、下記のフェライト系耐熱鋼にある。

【0015】質量％で、C：0.03～0.18％、Si：1％以下、Mn：2％以下、P：0.025％以下、S：0.01％以下、Cr：1～15％、N：0.005～0.08％、Nb：0.002～0.15％、V：0.005～0.5％、Al：0.02％以下、O：0.02％以下を含み、残部は実質的にFeよりなり、かつ下記の(1) 式を満たし、さらに、鋼中に含まれる粒径0.5μm以上の炭・窒化物の析出密度が $10^6$  個/mm<sup>2</sup> 以下であるフェライト系耐熱鋼。

【0016】

$V+2Nb \geq 0.015Cr$  …… (1)

ここで、式中の元素記号は鋼中に含まれる各元素の含有量（質量％）を意味する。

【0017】上記本発明のフェライト系耐熱鋼は、下記のイ～へのグループのうちから選ばれた1または2グループ以上の元素を含むものであってもよい。

【0018】イ：Mo：0.01～5％または／およびW：0.01～5％、

ロ：Ni：0.01～5％、Cu：0.01～5％およびCo：0.01～5％のうちから選ばれた1種または2種以上、

ハ：B：0.0005～0.01％、

ニ：REM：0.0005～0.01％、

ホ：Ca：0.0005～0.01％または／およびMg：0.0005～0.01％、

ヘ：Zr：0.005～1％、Ti：0.005～1

％、Ta：0.005～1％、Hf：0.005～1％およびNd：0.005～1％のうちから選ばれた1種または2種以上を合計で0.005～1％。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明のフェライト系耐熱鋼の化学組成および炭・窒化物の大きさとその析出密度を上記のように定めた理由について詳細に説明する。なお、以下において、「％」は「質量％」を意味する。

【0020】C：0.03～0.18％

Cは、炭化物を形成し、高温強度の確保に寄与する元素である。この効果を発揮させるためには0.03％以上が必要である。しかし、過剰の添加は、炭化物の粗大化を招き、長時間使用後の強度低下および脆化を招く。このため、上限を0.18％とした。好ましい範囲は0.05～0.15％である。

【0021】Si：1％以下

Siは、製鋼時に脱酸元素として添加されるが、耐酸化性、耐高温腐食性に有効な元素である。しかし、過剰の添加はクリープ脆化および靱性の低下を招く。このため、上限を1％とした。好ましい上限は0.8％である。なお、下限は特に定めないが、脱酸効果を確実に得るためには0.03％以上とするのがよい。

【0022】Mn：2％以下

Mnは、上記のSiと同様に、製鋼時に脱酸元素として添加される。しかし、過剰に含まれるとクリープ脆化を生じ、クリープ強度の低下を招く。このため、上限を2％とした。好ましい上限は1.8％である。なお、下限は特に定めないが、脱酸効果を確実に得るためには0.03％以上とするのがよい。

【0023】P：0.025％以下

Pは、鋼中に含まれる不純物元素であり、過剰に含まれると粒界脆化の原因になる。このため、その上限を0.025％とした。なお、P含有量は低ければ低いほど好ましい。

【0024】S：0.01％以下

Sは、上記のPと同様に、鋼中に含まれる不純物元素であり、過剰に含まれると粒界脆化の原因になる。このため、その上限を0.01％とした。なお、S含有量は低ければ低いほど好ましい。

【0025】Cr：1～15％

Crは、高温での耐酸化性、耐高温腐食性、高温強度の確保に有効な元素である。これらの効果を得るためには1％以上が必要である。しかし、過剰添加は高温での使用中の炭化物の極端な粗大化を招き、靱性およびクリープ強度の低下を招く。このため、Cr含有量は1～15％とした。好ましい範囲は1.1～13.5％である。ただし、溶接前にCr炭化物を主体とする粗大な炭化物が多量に存在すると、この粗大な炭化物が溶接熱サイクルによって一部固溶し、HAZ軟化の直接的な原因となる。このため、Cr含有量は、後述するV、Nbとの関係式を満たす量と必要がある。

【0026】N：0.005～0.08％

Nは、窒化物を形成し、クリープ強度の確保に寄与する元素である。この効果を得るためには0.005％以上が必要である。しかし、過剰の添加は析出物の粗大化を招き、かえってクリープ強度を損なう。このため、N含有量は0.005～0.08％とした。好ましい範囲は0.008～0.07％である。

【0027】Nb: 0.002~0.15%

Nbは、微細な炭・窒化物を形成し、クリープ強度の向上に寄与する元素である。この効果を得るためには0.002%以上が必要である。また、Nbは、溶接前の母材鋼中に微細かつ高温まで安定な炭・窒化物となって存在し、この炭・窒化物はHAZ軟化を防止する。この効果を得るためには、後述するCr、Vとの関係式を満たす必要がある。しかし、このような利点を有するNbも0.15%を超えて含有させると、溶接前の母材鋼中に粗大な炭化物が存在するようになり、HAZ軟化の防止効果が失われるとともに、長時間使用後の靱性および強度低下を招く。このため、Nb含有量は0.002~0.15%とした。望ましい範囲は0.005~0.12%である。

【0028】V: 0.005~0.5%

Vは、上記のNbと同様に、微細な炭・窒化物を形成し、クリープ強度の向上に寄与する元素である。また、Vは、上記のNbと同様に、溶接前の母材鋼中に微細かつ高温まで安定な炭・窒化物として存在し、この炭・窒化物はHAZ軟化を防止する。この効果を得るためには、後述するCr、Nbとの関係式を満たす必要がある。しかし、このような利点を有するVも0.5%を超えて含有させると、溶接前の母材鋼中に粗大な炭化物が存在するようになり、HAZ軟化の防止効果が失われるとともに、長時間使用後の靱性および強度低下を招く。このため、V含有量は0.005~0.5%とした。望ましい範囲は0.008~0.45%である。

【0029】Al: 0.02%以下

Alは、脱酸剤として添加されるが、過剰の添加は清浄度の低下を招く。このため、その上限を0.02%とした。好ましい上限は0.01%である。なお、下限は特に定めないが、脱酸効果を確実に得るためには0.003%以上とするのがよい。

【0030】O(酸素): 0.02%以下

O(酸素)は、鋼中に含まれる不純物元素であり、過剰に含まれると清浄度の低下を招くとともにクリープ強度の低下を招く。このため、その上限を0.02%とした。なお、O含有量は低ければ低いほどよい。

【0031】溶接前の母材鋼中の炭・窒化物の大きさと量: 前述したように、HAZ軟化現象の一因は、母材の製造時に析出していたCr炭化物を主体とする粗大な炭化物が溶接時の熱サイクルにより一部固溶し、その後の溶接後熱処理およびクリープ初期過程で、粗大な炭化物が固溶した領域から、過飽和に固溶した溶質元素が微細に再析出するため、溶接熱サイクルを受けない母材部やHAZ軟化が生じない部分と比べると炭・窒化物の密度、サイズ分布が不均一となるためである。これを防ぐためには、溶接前の母材鋼中に存在する粗大な炭化物の量を制限し、溶接時の熱サイクルによって一部固溶する炭化物の量を減らすことが有効なことは前述した通りで

ある。その効果を十分に得るためには、溶接前の母材鋼中の粒径(平均粒径)0.5 $\mu$ m以上の炭・窒化物の析出密度を10<sup>6</sup>個/mm<sup>2</sup>以下とする必要がある。このことは、後述する実施例からも明らかである。

【0032】なお、粒径0.5 $\mu$ m以上の炭・窒化物の析出密度が10<sup>6</sup>個/mm<sup>2</sup>以下の組織は、例えば、母材の製造時における焼きならし、焼き戻し熱処理の温度と保持時間を鋼の化学組成に応じて適宜調整することにより容易に達成できる。

【0033】V、NbおよびCrの関係: 前述したように、HAZ軟化現象の一因は、母材の製造時に析出していたCr炭化物を主体とする粗大な炭化物が溶接時の熱サイクルにより一部固溶し、その後の溶接後熱処理およびクリープ初期過程で、粗大な炭化物が固溶した領域から、過飽和に固溶した溶質元素が微細に再析出するため、溶接熱サイクルを受けない母材部やHAZ軟化が生じない部分と比べると炭・窒化物の密度、サイズ分布が不均一となるためである。これを防止するためには、溶接前にV、Nbといった微細かつ固溶温度がCr炭化物よりも高い安定な炭・窒化物を析出させることが有効である。その効果を十分に得るためには、V、NbおよびCrの含有量を、式「 $V+2Nb \geq 0.015Cr$ 」を満たす量に調整する必要がある。このことは、後述する実施例からも明らかである。

【0034】本発明のフェライト系耐熱鋼は、上記の化学組成と炭・窒化物量を満たせば十分であるが、必要に応じて以下に述べる元素を含むものであってもよい。

【0035】Mo、W: これらの元素は、添加しなくてもよい。添加すれば、いずれの元素もマトリックスを固溶強化するとともに金属間化合物を析出し、クリープ強度の向上に寄与する元素である。このため、その効果を得たい場合には、いずれか一方を単独または両方を複合で添加してもよく、その効果はいずれの元素も0.01%以上で顕著になる。しかし、いずれの元素も5%を超えて含有させると、長時間使用後の靱性低下を招く。したがって、添加する場合のこれら元素の含有量は、いずれも0.01~5%とするのがよい。なお、Moについては炭化物、Wについては金属間化合物を析出し、クリープ強度を向上させる作用もある。

【0036】Ni、Cu、Co: これらの元素は、添加しなくてもよい。添加すれば、いずれの元素もオーステナイト生成元素であるため、マトリックスをマルテンサイト単相組織にして靱性を向上させるのに有効な元素である。このため、その効果を得たい場合には、これらの元素のうちから選ばれた1種を単独または2種以上を複合で添加してもよく、その効果はいずれの元素も0.01%以上で顕著になる。しかし、いずれの元素も5%を超えて含有させると、オーステナイト変態温度(A<sub>c1</sub>点)を低下させ、溶接後熱処理時にオーステナイト変態を生じ、クリープ強度の低下を招く。したがって、添

加する場合のこれら元素の含有量は、いずれも0.01～5%とするのがよい。なお、Coについては金属間化合物相の析出を促進させ、クリープ強度を向上させる作用もある。

【0037】B：Bは、添加しなくてもよい。添加すれば、炭・窒化物を分散、安定化させクリープ強度の向上に寄与する元素である。このため、その効果を得たい場合には添加してもよく、その効果は0.0005%以上で顕著になる。しかし、0.01%を超える過剰の添加は溶接性を損なう。したがって、添加する場合のB含有量は0.0005～0.01%とするのがよい。

【0038】REM：REM（希土類元素）は、添加しなくてもよい。添加すれば、溶接金属のPやSとの親和力が強く、PやSの粒界偏析を抑制し、粒界脆化を防止する効果が期待できる。このため、その効果を得たい場合には添加してもよく、その効果は0.0005%以上で顕著になる。しかし、0.01%を超える過剰の添加は鋼の清浄性を損なう。したがって、添加する場合のREM含有量は0.0005～0.01%とするのがよい。

【0039】Ca、Mg：これらの元素は、添加しなくてもよい。添加すれば、いずれの元素も熱間加工性の向上に寄与する元素である。このため、その効果を得たい場合にはいずれか一方を単独または両方を複合で添加し

てもよく、その効果はいずれの元素も0.0005%以上で顕著になる。しかし、いずれの元素も0.01%を超えて含有させると鋼の清浄性を損なう。したがって、添加する場合のこれら元素の含有量はいずれも0.0005～0.01%とするのがよい。

【0040】Zr、Ti、Ta、Hf、Nd：これらの元素は、添加しなくてもよい。添加すれば、いずれの元素も本発明の効果を損なうことなく、クリープ強度の向上に寄与する元素である。このため、その効果を得たい場合にはいずれか1種または2種以上を添加してもよく、その効果は0.005%以上の合計含有量で顕著になる。しかし、その合計含有量が1%を超えると多量の炭・窒化物の析出を招き、靱性を損なう。したがって、添加する場合のこれらの元素の含有量は合計で0.005～1%とするのがよい。

【0041】

【実施例】表1に示す化学組成を有する24種類のフェライト鋼からなる厚さ12mmの鋼板を準備した。鋼板は、真空溶解炉にて溶製し、鑄造、鍛造、圧延の工程により板材に成形した後、900～1200℃×0.1～1時間の焼きならしの後、700～780℃×0～3時間の焼き戻し熱処理を行うことにより製造した。

【0042】

【表1】

| 表 1 |               |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |       |         |    |
|-----|---------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|---------|----|
| 鋼   | 化 学 組 成 (質量%) |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       | その他   |         |    |
|     | Nb            | C    | Si   | Mn    | P     | S     | Cr    | Nb    | V     | Hf    | Al    | O    | N    | Mo   | Ni   | Cu   | Co    | B     | REM   |       | Ca      | Mg |
| A   | 0.07          | 0.69 | 0.89 | 0.009 | 0.008 | 11.98 | 0.041 | 0.271 | 0.024 | 0.018 | 0.003 | 2.03 | 0.54 | 0.51 | 0.89 | —    | —     | —     | —     | —     | —       |    |
| B   | 0.09          | 0.35 | 0.30 | 0.011 | 0.005 | 9.65  | 0.082 | 0.183 | 0.020 | 0.020 | 0.005 | 0.01 | 0.97 | 0.03 | —    | 0.02 | 0.002 | —     | —     | —     | —       |    |
| C   | 0.08          | 0.51 | 1.88 | 0.008 | 0.007 | 9:18  | 0.038 | 0.213 | 0.018 | 0.017 | 0.005 | 3.21 | —    | 0.01 | —    | 2.98 | —     | —     | —     | 0.003 | Nd:0.05 |    |
| D   | 0.10          | 0.64 | 0.96 | 0.012 | 0.006 | 5.09  | 0.009 | 0.072 | 0.024 | 0.018 | 0.007 | 1.96 | 0.60 | 0.32 | 1.03 | 0.01 | —     | —     | —     | —     | Ti:0.20 |    |
| E   | 0.15          | 0.74 | 0.12 | 0.015 | 0.006 | 1.26  | 0.002 | 0.028 | 0.036 | 0.021 | 0.004 | —    | 0.42 | 0.05 | —    | —    | —     | 0.002 | —     | —     | —       |    |
| F   | 0.12          | 0.56 | 1.04 | 0.010 | 0.006 | 2.31  | 0.018 | 0.004 | 0.014 | 0.015 | 0.005 | —    | 0.33 | 0.08 | 0.05 | —    | —     | —     | 0.001 | —     | —       |    |
| G   | 0.11          | 0.21 | 0.52 | 0.009 | 0.008 | 7.56  | 0.080 | 0.011 | 0.023 | 0.016 | 0.005 | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 1.58 | 0.02 | —     | —     | —     | —     | Ta:0.49 |    |
| H   | 0.04          | 0.47 | 0.53 | 0.015 | 0.010 | 10.05 | 0.012 | 0.132 | 0.076 | 0.011 | 0.007 | 3.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 4.87 | —     | —     | —     | 0.001 | —       |    |
| I   | 0.05          | 0.16 | 0.72 | 0.009 | 0.008 | 13.30 | 0.045 | 0.179 | 0.069 | 0.015 | 0.007 | 0.01 | 2.05 | 4.69 | 0.05 | —    | —     | —     | —     | 0.001 | —       |    |
| J   | 0.13          | 0.35 | 1.19 | 0.010 | 0.009 | 9.14  | 0.031 | 0.171 | 0.019 | 0.015 | 0.005 | 3.17 | 0.02 | 0.03 | 3.67 | —    | —     | 0.003 | —     | —     | Nd:0.05 |    |
| K   | 0.09          | 0.32 | 0.72 | 0.014 | 0.005 | 1.09  | 0.008 | 0.003 | 0.031 | 0.011 | 0.006 | —    | —    | —    | —    | —    | —     | —     | —     | —     | —       |    |
| L   | 0.09          | 0.27 | 0.93 | 0.011 | 0.004 | 14.46 | 0.147 | 0.002 | 0.080 | 0.016 | 0.006 | 0.01 | 1.26 | 0.11 | —    | 0.01 | —     | —     | —     | —     | —       |    |
| M   | 0.12          | 0.39 | 0.52 | 0.024 | 0.006 | 9.64  | 0.003 | 0.480 | 0.049 | 0.018 | 0.007 | 0.05 | 0.19 | —    | 0.01 | 0.01 | —     | —     | —     | 0.002 | —       |    |
| N   | 0.09          | 0.59 | 0.89 | 0.013 | 0.005 | 8.13  | 0.010 | 0.141 | 0.052 | 0.050 | 0.008 | 1.56 | 0.47 | 0.81 | 0.02 | —    | 0.003 | —     | —     | —     | Ta:0.34 |    |
| O   | 0.13          | 0.45 | 1.52 | 0.012 | 0.007 | 8.97  | 0.032 | 0.060 | 0.041 | 0.013 | 0.003 | 1.87 | 0.53 | 0.30 | 0.88 | 0.02 | —     | 0.001 | 0.001 | —     | —       |    |
| P   | 0.15          | 0.04 | 0.53 | 0.011 | 0.006 | 9.43  | 0.005 | 0.002 | 0.055 | 0.022 | 0.002 | 1.55 | 0.15 | 0.51 | 0.96 | 0.05 | —     | —     | —     | —     | —       |    |
| Q   | 0.07          | 0.35 | 0.86 | 0.013 | 0.003 | 2.17  | 0.002 | 0.002 | 0.036 | 0.013 | 0.005 | —    | —    | 0.48 | 0.52 | —    | —     | —     | —     | —     | —       |    |
| R   | 0.10          | 0.41 | 1.47 | 0.010 | 0.008 | 5.16  | 0.011 | 0.009 | 0.014 | 0.009 | 0.004 | —    | —    | 0.01 | 0.02 | —    | 0.002 | —     | —     | —     | —       |    |
| S   | 0.18          | 0.23 | 0.42 | 0.009 | 0.005 | 10.15 | 0.005 | 0.120 | 0.032 | 0.010 | 0.008 | 2.16 | 0.17 | 0.31 | 0.89 | —    | —     | —     | —     | 0.001 | —       |    |
| T   | 0.06          | 0.08 | 0.35 | 0.012 | 0.004 | 12.41 | 0.012 | 0.151 | 0.041 | 0.012 | 0.003 | 1.48 | 0.25 | —    | 1.06 | 0.08 | —     | —     | —     | —     | —       |    |
| U   | 0.08          | 0.65 | 0.41 | 0.015 | 0.004 | 9.16  | 0.041 | 0.148 | 0.074 | 0.010 | 0.006 | 0.02 | 0.97 | 0.11 | —    | 0.11 | —     | 0.004 | —     | —     | Ti:0.22 |    |
| V   | 0.10          | 0.44 | 1.18 | 0.023 | 0.007 | 1.26  | 0.010 | 0.008 | 0.029 | 0.015 | 0.007 | 0.07 | 0.47 | 0.01 | —    | 0.53 | —     | —     | —     | —     | —       |    |
| W   | 0.07          | 0.36 | 0.78 | 0.007 | 0.006 | 7.34  | 0.044 | 0.539 | 0.025 | 0.024 | 0.005 | 0.41 | 0.01 | 0.14 | 0.02 | 0.02 | 0.001 | —     | 0.001 | —     | —       |    |
| X   | 0.04          | 0.10 | 0.13 | 0.012 | 0.003 | 9.56  | 0.171 | 0.241 | 0.009 | 0.014 | 0.008 | 2.41 | —    | —    | —    | —    | —     | —     | —     | —     | —       |    |

注) 残部は実質的にFeである。

まず、準備した各鋼板から、組織検鏡用試料を採取し、走査型電子顕微鏡（SEM）を用い、5000倍の倍率で10視野観察し、炭・窒化物のサイズと個数を測定し、1mm<sup>2</sup>当たりの粒径0.5μm以上の炭・窒化物の析出密度を調べた。

【0043】次に、鋼板の1辺に角度30°、ルートフ

ェイス厚さ1mmの開先加工を施して突き合わせた後、化学組成が鋼板と同一の溶加材を使用してTIG溶接法により多層盛り溶接を行って、各鋼板毎に溶接継手を製造した。その際、溶接入熱は10～20kJ/cmとし、予熱とパス間温度管理は特に行わなかった。なお、上記の溶加材は、準備した各鋼板に熱間加工と機械加工

を施して製作した。

【0044】製造した溶接継手に、700～760℃×0.5時間加熱保持する溶接後熱処理を施した後、長手方向の中央部に溶接線が位置するクリープ試験片を採取し、クリープ試験に供してクリープ破断時間(h)を調べ、同じ条件での母材鋼板のクリープ破断時間(h)と対比した。クリープ試験温度は、600℃、付加応力は

各母材の破断時間が約3000時間となる応力で試験を行い、評価は、クリープ破断時間が母材鋼板の90%以上のものを合格、それ未満のものを不合格とした。その結果を、表2に示した。

【0045】

【表2】

表 2

| 鋼<br>No | V+2Nb<br>-0.015Cr | 炭・窒化物密度<br>(個/m <sup>2</sup> ) | 破 断 時 間 (h) |         | 破 断 時 間 比<br>(%) |
|---------|-------------------|--------------------------------|-------------|---------|------------------|
|         |                   |                                | 母 材         | 溶 接 継 手 |                  |
| A       | 0.1733            | 121300                         | 3841        | 3515    | 92               |
| B       | 0.20225           | 54100                          | 3054        | 2819    | 92               |
| C       | 0.1513            | 263300                         | 2986        | 2699    | 90               |
| D       | 0.01365           | 456100                         | 3721        | 3468    | 93               |
| E       | 0.0131            | 872400                         | 3426        | 3114    | 91               |
| F       | 0.00535           | 5100                           | 3354        | 3055    | 91               |
| G       | 0.0576            | 12100                          | 2945        | 2656    | 90               |
| H       | 0.00525           | 241600                         | 3945        | 3554    | 90               |
| I       | 0.0695            | 612700                         | 3075        | 2807    | 91               |
| J       | 0.0959            | 254100                         | 3426        | 3101    | 91               |
| K       | 0.00265           | 941200                         | 3615        | 3290    | 91               |
| L       | 0.0791            | 221200                         | 2869        | 2628    | 92               |
| M       | 0.3414            | 200                            | 3164        | 2863    | 91               |
| N       | 0.03905           | 158600                         | 3287        | 2965    | 90               |
| O       | -0.01055          | 641200                         | 2654        | 2086    | 79               |
| P       | -0.12945          | 1045100                        | 3942        | 2661    | 68               |
| Q       | -0.02655          | 210600                         | 2895        | 2330    | 81               |
| R       | -0.0464           | 321200                         | 3075        | 2291    | 75               |
| S       | -0.02225          | 414500                         | 3327        | 2582    | 78               |
| T       | -0.01115          | 687100                         | 3645        | 2974    | 82               |
| U       | 0.0926            | 1027200                        | 3155        | 2590    | 82               |
| V       | 0.0091            | 1121400                        | 3345        | 2392    | 72               |
| W       | 0.5169            | 321400                         | 1810        | 1619    | 89               |
| X       | 0.4395            | 447000                         | 1171        | 1015    | 87               |

表2から明らかなように、化学組成が本発明で規定する範囲内の鋼(鋼No. A～N)からなる母材鋼板を用いて得られた溶接継手は、いずれも溶接熱影響部でのクリープ破断時間が母材鋼板の90%以上で、クリープ強度の低下程度は小さかった。

【0046】これに対し、化学組成が本発明で規定する範囲を外れる鋼(鋼No. O～X)からなる母材鋼板を用

いて得られた溶接継手は、いずれも溶接熱影響部でのクリープ破断時間が母材鋼板の89%以下で、クリープ強度の低下程度は大きかった。

【0047】

【発明の効果】本発明のフェライト系耐熱鋼は、溶接熱影響部でのクリープ強度の低下が小さいので、クリープ強度の良好な溶接継手が得られる。